

AN: PAT 2002-027401
TI: One-piece component used e.g. for valves in combustion engines has a lamella cast structure
PN: **DE10024343-A1**
PD: 22.11.2001
AB: NOVELTY - One-piece component consists of an intermetallic alloy based on gamma -TiAl having a graduated joint transition between neighboring regions of each different joint structure. The component has a lamella cast structure made up of alpha 2/ gamma -lamellae in one region and a near- gamma -structure , duplex structure or a fine lamella structure in a further region. A transition zone with a graduated structure is arranged between these regions. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for a process for the production of the component. Preferred Features: The lamella cast structure made up of alpha 2/ gamma -lamellae is produced by solidifying a molten alloy.; USE - Used for valves in combustion engines or for paddles in gas turbines (claimed). ADVANTAGE - The component has high temperature and corrosion resistance.
PA: (CLEM/) CLEMENS H; (GFEM-) GFE METALLE & MATERIALIEN GMBH; (GUTH/) GUTHER V; (OTTO/) OTTO A;
IN: CLEMENS H; GUETHER V; OTTO A; GUTHER V;
FA: **DE10024343-A1** 22.11.2001; US2004045644-A1 11.03.2004; WO200188214-A1 22.11.2001; AU200162295-A 26.11.2001; EP1287173-A1 05.03.2003; JP2003533594-W 11.11.2003;
CO: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BE; BG; BR; BY; BZ; CA; CH; CN; CR; CU; CY; CZ; DE; DK; DM; DZ; EA; EE; EP; ES; FI; FR; GB; GD; GE; GH; GM; GR; HR; HU; ID; IE; IL; IN; IS; IT; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LI; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MA; MC; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NL; NO; NZ; OA; PL; PT; RO; RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; SZ; TJ; TM; TR; TT; TZ; UA; UG; US; UZ; VN; WO; YU; ZA; ZW;
DN: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BG; BR; BY; BZ; CA; CH; CN; CR; CU; CZ; DE; DK; DM; DZ; EE; ES; FI; GB; GD; GE; GH; GM; HR; HU; ID; IL; IN; IS; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MA; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NO; NZ; PL; PT; RO; RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; TJ; TM; TR; TT; TZ; UA; UG; US; UZ; VN; YU; ZA; ZW;
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; EA; ES; FI; FR; GB; GH; GM; GR; IE; IT; KE; LS; LU; MC; MW; MZ; NL; OA; PT; SD; SE; SL; SZ; TR; TZ; UG; ZW; AL; LI; LT; LV; MK; RO; SI;
IC: B22D-011/00; B22D-013/02; B22D-027/02; B22D-027/04; C22C-001/02; C22C-014/00; C22F-001/18; F01D-005/28; F01L-003/02;
MC: M26-B06;
DC: M26; P53; Q51;
PR: DE1024343 17.05.2000;
FP: 22.11.2001
UP: 18.03.2004

AF



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 24 343 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
C 22 C 14/00
B 22 D 27/04
C 22 F 1/18

⑲ Aktenzeichen: 100 24 343.6
⑳ Anmeldetag: 17. 5. 2000
㉑ Offenlegungstag: 22. 11. 2001

DE 100 24 343 A 1

⑦① Anmelder:
GfE Metalle und Materialien GmbH, 90431
Nürnberg, DE

⑦④ Vertreter:
Abitz & Partner, 81679 München

⑦② Erfinder:
Güther, Volker, Dr., 90559 Burgthann, DE; Otto,
Andreas, Dipl.-Ing., 90574 Roßtal, DE; Clemens,
Helmut, Prof. Dr. mont., 70174 Stuttgart, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

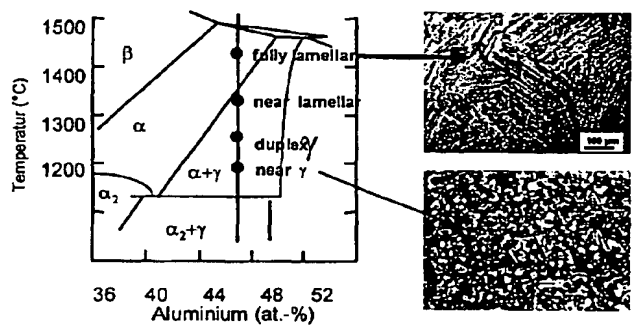
DE 40 16 340 C1
DE 19 46 745 B2
DE-OS 21 54 615
US 53 11 655
EP 04 43 544 B1
EP 06 04 703 A1

JP 5-154642 A., In: Patents Abstracts of Japan,
M-1490, Oct. 4, 1993, Vol. 17, No. 548;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Bauteil auf Basis von γ -TiAl-Legierungen mit Bereichen mit gradiertem Gefüge

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein einstückig hergestelltes Bauteil aus einer intermetallischen Legierung auf Basis von γ -TiAl mit gradiertem Gefügeübergang zwischen räumlich aneinandergrenzenden Bereichen jeweils unterschiedlicher Gefügestruktur, welches mindestens in einem Bereich ein lamellares, aus α_2/γ -Lamellen bestehendes Gussgefüge aufweist, und in mindestens einem weiteren Bereich ein near- γ -Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinelamellares Gefüge aufweist und zwischen diesen Bereichen eine Übergangszone mit gradiertem Gefüge vorhanden ist, in welcher das lamellare Gussgefüge allmählich in das andere genannte Gefüge übergeht, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.



DE 100 24 343 A 1

BEST AVAILABLE COPY

[0001] Die Erfindung betrifft Bauteile auf der Basis von intermetallischen γ -TiAl-Legierungen mit einem gradierten Gefügeübergang zwischen räumlich getrennten Bereichen mit jeweils unterschiedlicher Gefügestruktur sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

[0002] Intermetallische γ -TiAl-Legierungen haben in den vergangenen Jahren aufgrund ihrer Kombination von einzigartigen Materialeigenschaften große Beachtung gefunden. Ihre vorteilhaften mechanischen und thermophysikalischen Eigenschaften bei geringem spezifischen Gewicht empfehlen deren Einsatz in der Luft- und Raumfahrt. Die hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit macht den Werkstoff für schnell bewegliche Bauteile in Maschinen, z. B. für Ventile in Verbrennungsmotoren oder für Schaufeln in Gasturbinen, interessant.

[0003] Die gegenwärtig verwendeten technischen Legierungen auf der Basis von γ -TiAl sind mehrphasig aufgebaut und enthalten neben dem geordneten tetragonalen γ -TiAl als Hauptphase das geordnete hexagonale α_2 -Ti₃Al, typischerweise mit 5–15 Vol.-% Anteil. Refraktärmetalle als Legierungselemente können zur Ausbildung einer metastabilen kubisch raumzentrierten Phase führen, die entweder als β -Phase (ungeordnet) bzw. als B2-Phase (geordnet) auftritt. Diese Legierungszusätze verbessern die Oxidationsbeständigkeit und Kriechfestigkeit. Si, B und C dienen in geringen Mengen zur Kornfeinung des Gussgefüges. Entsprechende C-Gehalte können zu Ausscheidungshärtungen führen. Die Legierungselemente Cr, Mn und V erhöhen die Raumtemperatur-Duktilität des ansonsten sehr spröden TiAl. Die Legierungsentwicklung hat je nach Anwendungsprofil zu einer Reihe unterschiedlicher Legierungsvarianten geführt, die sich allgemein durch die folgende Summenformel beschreiben lassen:

Ti-
Al₍₄₄₋₄₈₎(Cr,Mn,V)_{0,5-5}(Zr,Cu,Nb,Ta,Mo,W,Ni)_{0,1-10}(Si,B,C,Y)_{0,05-1} (Angaben in Atom-%)

[0004] TiAl-Legierungen werden üblicherweise durch mehrfaches Schmelzen in einem Vakuum-Lichtbogenofen als Ingots hergestellt (VAR – Vacuum Arc Remelting). Alternativ ist die Herstellung von Legierungen auf der Basis von γ -TiAl mittels Kokillenguss aus einem Kaltwand-Induktions- bzw. -Plasmaofen oder mittels Inertgas-Verdünnung aus einem Kaltwandtiegel zu γ -TiAl-Pulver und pulvermetallurgischer Weiterverarbeitung technisch realisiert. Das über die Ingot-Route erschmolzene γ -TiAl weist üblicherweise ein grobkörniges Gefüge auf, wobei die Körner im wesentlichen aus γ -TiAl/ α_2 -Ti₃Al-Lamellen aufgebaut sind (s. Fig. 1). Je nach dem angewendeten Schmelzverfahren, der Legierungszusammensetzung und je nach Art und Geschwindigkeit des Erstarrens der Schmelze zur festen Basislegierung und der darauf folgenden Abkühlung lässt sich im Gussgefüge ein weites Spektrum von mehr oder weniger homogenen kleinen und/oder grossen Korndurchmessern, aber auch von fein oder grob lamellarer Struktur innerhalb eines Kornes der Legierung erzielen.

[0005] Stellvertretend für diesen Stand der Technik seien die US-Patentschriften 5 846 351, 5 823 243, 5 746 346 und 5 492 574 genannt.

[0006] Entsprechend den tatsächlich im Werkstoff erzeugten Phasen und Gefügen lassen sich sehr unterschiedliche Kombinationen von mechanischen Eigenschaften im Werkstoff erzielen – z. B. hinsichtlich Duktilität, Ermüdungsfestigkeit (entsprechend der Bruchdehnung und Zugfestigkeit), Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen und Bruch-

zähigkeit.

[0007] Die Bandbreite an gefügebedingten mechanischen Eigenschaften einer γ -TiAl-Legierung wird bekanntermassen über das Massivumformen bei Temperaturen im Bereich zwischen 900°C und 1400°C gegenüber der von Gussgefügen wesentlich erweitert. Bei der Massivumformung entsteht ein dynamisch rekristallisiertes feinkörniges Gefüge. Durch Wahl der Umformtemperatur und/oder durch nachgeschaltete Wärmebehandlungen oberhalb oder unterhalb der sogenannten α -Transus-Temperatur lassen sich die 4 grundlegenden Gefügetypen near- γ -Gefüge (globulare γ -Körner mit α_2 -Phase an Korngrenzen und Triple-Punkten), Duplex-Gefüge (globulare γ -Körner und lamellare α_2/γ zu annähernd gleichen Anteilen), nearly lamellare Gefüge (Körner aus α_2/γ -Lamellen und vereinzelt globulare γ -Körner) und fully lamellare Gefüge (Körner aus α_2/γ -Lamellen) einstellen (s. Fig. 2).

[0008] Feinkörnige near- γ - und Duplex-Gefüge besitzen eine gute Raumtemperatur-Duktilität, eine hohe Bruchdehnung und eine hohe Zugfestigkeit und damit eine hohe Ermüdungsfestigkeit, gleichzeitig aber eine niedrige Kriechfestigkeit und eine geringe Bruchzähigkeit. Demgegenüber zeigen Gefüge mit vergleichsweise gröberen Körnern und mit stark ausgeprägter lamellarer Struktur eine deutlich bessere Kriechfestigkeit und eine höhere Bruchzähigkeit, andererseits aber auch eine geringere Ermüdungsfestigkeit und Bruchdehnung.

[0009] Entsprechend gross ist die Anzahl bereits erprobter Legierungs- und Gefüge-Ausgestaltungen von γ -TiAl und dorthin führender Herstellungsverfahren. Dabei geht es einerseits um die Erzielung eines möglichst optimalen Kompromisses zwischen einzelnen, sich mit den Behandlungsschritten vielfach gegenläufig verändernden thermomechanischen Eigenschaften im Werkstoff und andererseits um eine Kosten-Optimierung bei der Festlegung der einzelnen, nacheinander unverzichtbaren anzuwendenden Behandlungsschritte.

[0010] Zur Erzeugung definierter Phasen- und Gefüge-Strukturen mittels Werkstoffnachbehandlungen wird grundsätzlich von aus der Schmelze erstarrten γ -Basis-TiAl-Legierungen ausgegangen. Die Nachbehandlungen bestehen nach dem Stand der Technik entweder in speziellen Wärmebehandlungszyklen (siehe D. Zhang, P. Kobold, V. Güther und H. Clemens: Influence of Heat Treatments on Colony Size and Lamellar Spacing in a Ti-46Al-2Cr-2Mo-0,25Si-0,3B Alloy, Zeitschrift für Metallkunde, 91 (2000) 3, s. Seite 205) oder in verschiedenartigen Umformschritten.

[0011] Die DE-C-43 18 424 C2 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Formkörpern aus γ -TiAl-Legierungen, beispielsweise auch in Form von Ventilen und Ventiltellern für Motoren. Dazu wird ein Gussrohling zunächst im Temperaturbereich von 1050°C bis 1300°C unter quasiisothermen Bedingungen mit hohem Umformgrad verformt, das Teil danach abgekühlt und schliesslich bei Temperaturen von 900°C bis 1100°C bei geringer Umformgeschwindigkeit von 10^{-4} bis 10^{-1} /s zum endabmessungsnahen Formteil superplastisch umgeformt. Das Verfahren ist mehrschrittig und damit technisch aufwendig.

[0012] Es werden vielfach Bauteile benötigt, und dazu gehören beispielsweise auch Ventile für Verbrennungsmotoren und Rotorschaukeln für Gasturbinen, für die in einzelnen Bauteil-Bereichen unterschiedliche, zum Teil stark unterschiedliche Werkstoffeigenschaften gefordert werden, insbesondere auch hinsichtlich ihrer thermomechanischen Eigenschaften. Dem wird bisher in der Regel dadurch entsprochen, dass ein Bauteil aus Bereichen unterschiedlicher Werkstoffe zusammengesetzt wird, z. B. mittels kraft- und/oder materialschlüssigen Fügens. Ventile für Verbrennungs-

motoren werden heute beispielsweise aus für den Schaft und für den Tellerbereich unterschiedlichen Stahlsorten hergestellt, wobei die Teile durch Reibschweißen miteinander verbunden werden.

[0013] Gemäss AT-U-381/98 werden Tellerventile für Verbrennungskraftmaschinen aus γ -Basis-TiAl-Legierungen beschrieben, die aus einem einstückigen, z. B. einem erschmolzenen oder durch heissisostatisches Pressen von Legierungspulvern hergestellten Rohling gefertigt sind. Das Rohteil wird mittels eines ersten Umformvorganges einheitlich auf solche thermomechanische Werkstoffeigenschaften gebracht, welche den späteren Anforderungen an den Tellerbereich des Ventiles entsprechen. In einem zweiten Umformprozess mittels Strangpressen und gleichzeitiger Formgebung auf Bauteil-Sollmasse, wird das bereits einmal umgeformte Halbzeug in einer entsprechend ausgestatteten Strangpressform und in Anwendung von auf die Werkstoffanforderungen angepassten Verfahrensparametern ein Teilbereich weiter zum Schaft umgeformt. Dabei werden in diesem Teilbereich die für einen Ventilschaft benötigten thermomechanischen Werkstoffeigenschaften ausgebildet. Der Strangpressvorgang für das Teil wird in einer Pressform mit konischem Übergang zwischen Einlass- und Auslassbereich zu dem Zeitpunkt "abgebrochen", dass ein fertiges Ventil mit zweimal umgeformtem, schlanken Schaftbereich mit einmal umgeformtem, dicken Tellerbereich und mit einer konusförmigen Übergangszone entsteht. Die Gefüge, insbesondere Kornform und -grösse, zwischen Teller- und Schaftbereich ändern sich gradiert in einer Weise, die durch die Umformparameter der beiden Umformschritte bestimmt wird. Dieses Verfahren umfasst ebenfalls mehrere Umformschritte und ist daher aufwendig und teuer.

[0014] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, für Bauteile aus Legierungen auf der Basis von γ -TiAl, die im Endzustand lokale Bereiche mit unterschiedlichen thermomechanischen Anforderungsprofilen besitzen und eine Übergangszone hinsichtlich der Materialeigenschaften aufweisen sollen, ein gegenüber dem Stand der Technik wirtschaftlicheres Fertigungsverfahren und ein nach diesem Verfahren hergestelltes, vergleichsweise preisgünstigeres Bauteil zu schaffen. Dabei ist es das Ziel, die gesamte mögliche Bandbreite gefügebestimmter Eigenschaftsprofile durch die Einstellung unterschiedlicher Grundgefüge in einem Bauteil auszunutzen. Dementsprechend sollen für Bauteile mit in einzelnen Bereichen stark unterschiedlicher Temperatur- und Festigkeitsbeanspruchung den Anforderungen möglichst gut angepasste Gefüge erzeugt und thermomechanische Eigenschaften generiert werden, die denjenigen von nach bekannten Verfahren mit mehrstufigem Umformen erhaltenen Bauteile qualitativ überlegen sind oder zumindest nicht nachstehen, wobei sich die Bauteile aber kostengünstiger herstellen lassen sollen.

[0015] Diese Aufgabe wird durch ein einstückig hergestelltes Bauteil aus einer intermetallischen Legierung auf Basis von γ -TiAl mit gradiertem Gefügeübergang zwischen räumlich aneinandergrenzenden Bereichen jeweils unterschiedlicher Gefügestruktur gelöst, welches mindestens in einem Bereich ein lamellares, aus α_2/γ -Lamellen bestehendes Gefüge aufweist und in mindestens einem weiteren Bereich ein near- γ -Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinlamellares Gefüge aufweist, wobei zwischen diesen Bereichen eine Übergangszone mit gradiertem Gefüge vorhanden ist, in welcher das lamellare Gussgefüge allmählich in das andere genannte Gefüge übergeht.

[0016] Dabei ist das lamellare, aus α_2/γ -Lamellen bestehende Gussgefüge vorzugsweise durch gerichtetes Erstarren einer erschmolzenen Legierung hergestellt worden. Das near- γ -Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinlamellare Gefüge

ist vorzugsweise in dem mindestens einen weiteren Bereich durch Massivumformung und gegebenenfalls durch eine Nachbehandlung aus dem Gussgefüge hergestellt worden.

[0017] Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung von solchen Bauteilen, wobei in einem ersten Schritt auf übliche Weise eine geeignete TiAl-Schmelze hergestellt wird, in einem zweiten Schritt die TiAl-Schmelze durch gerichtetes Erstarren in ein Halbzeug überführt wird, das ein lamellares, aus α_2/γ -TiAl-Lamellen bestehendes Gussgefüge aufweist, und in einem dritten Schritt in einem Teilbereich oder in Teilbereichen des Halbzeugs das lamellare, aus α_2/γ -TiAl-Lamellen bestehende Gussgefüge durch Massivumformung in einem Temperaturbereich von 900°C bis 1400°C in ein near- γ -Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinlamellares Gefüge überführt wird.

[0018] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird aus der TiAl-Schmelze mittels Strangguss ein porenfreies, zylinderförmiges Halbzeug hergestellt, welches anschliessend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt wird.

[0019] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird aus der TiAl-Schmelze mittels Schleuderguss ein zylinderförmiges Halbzeug lunkerfrei hergestellt, welches anschliessend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt wird.

[0020] Mit der Erfindung können in ein und demselben Bauteil Bereiche hoher Zugfestigkeit, Duktilität und Ermüdungsfestigkeit mit Bereichen hoher Bruchzähigkeit und hoher Kriechbeständigkeit realisiert werden.

[0021] Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäss hergestellten Bauteile besteht darin, daß über die Auswahl der Fertigungsschritte im Vergleich zum Stand der Technik eine erhebliche Einsparung bei den Fertigungskosten erzielt werden kann. Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich aus der technischen Erkenntnis, dass bei derartigen Bauteilen auf ein mehrfaches Umformen des Halbzeugs mit Gussgefüge verzichtet werden kann.

[0022] In den Zeichnungen zeigen

[0023] Fig. 1 das lamellare Gussgefüge eines VAR-TiAl-Ingots,

[0024] Fig. 2 einen Ausschnitt aus dem Phasendiagramm TiAl, wobei die schräg verlaufende Linie zwischen α und $\alpha + \gamma$ der α -Transus ist, der sich stark mit dem Al-Gehalt ändert, und wobei eine Wärmebehandlung eines durch Umformung dynamisch rekristallisierten Werkstoffes oberhalb des Transus zu einem fully lamellaren, unterhalb in Abhängigkeit von der Temperatur zu einem nearly lamellaren, Duplex- oder globularen near- γ -Gefüge führt,

[0025] Fig. 3 das Schema der Erschmelzung von homogenem TiAl-Halbzeug gemäss A. L. Dowson et al., Microstructure and Chemical Homogeneity of Plasma - Arc Cold-Heard Melted Ti-48Al-2Mn-2Nb Gamma Titanium Aluminide, Gamma Titanium Aluminides, ed. Y.-W. Kim, R. Wagner and M. Yamaguchi, The Minerals, Metals & Materials Society, 1995,

[0026] Fig. 4 eine metallografische Gefügaufnahme des Tellerbereiches eines erfindungsgemäss hergestellten Ventiles, wobei die Aufnahme im Teller das grobkörnige lamellare Gussgefüge aus α_2/γ -Lamellen zeigt und zu sehen ist, dass diese Struktur im konischen Teil des Tellers kontinuierlich in einen Bereich mit feinkörnigem, in der Aufnahme als solches nicht mehr auflösbares near- γ -Gefüge übergeht,

[0027] Fig. 5 eine lichtmikroskopische Aufnahme des lamellaren Gussgefüges im Tellerzentrum in höherer Vergrößerung, und

[0028] Fig. 6 eine lichtmikroskopische Aufnahme des globularen umgeformten Gefüges im Schaftbereich in höherer Vergrößerung.

[0029] Zum einen erlaubt bereits das weiter unten näher beschriebene, erfindungsgemässe, spezielle Gussverfahren selbst unvorhergesehene vorteilhafte Materialeigenschaften bei vergleichsweise grosser und damit individuell auf die jeweilige Werkstoffanforderung angepasster Variationsbreite von Eigenschaftskombinationen. Zum anderen lässt sich aus einem Halbzeug mit solcherart eingestelltem Gussgefüge durch Massivumformen ein dynamisch rekristallisiertes Gefüge mit von den Eigenschaften des Gusshalbzeugs stark abweichenden thermomechanischen Eigenschaften erzielen. Die Eigenschaften des dynamisch rekristallisierten Gefüges sind durch Anpassung der Verfahrensparameter ebenfalls variierbar.

[0030] Beide Verfahren, das spezielle Schmelz- und Gussverfahren sowie der anschliessende Umformprozess, ergänzen sich in einer nicht vorhergesehenen Art und Weise. In Summe lassen sich danach Werkstoffeigenschaften und Kombinationen von Werkstoffeigenschaften mittels eines einstufigen Umformprozesses in einer Bandbreite innerhalb eines einzigen Bauteils erzielen, die bisher auch mit mehrstufigen Umformprozessen nicht realisiert werden konnten. Dieses Erkenntnis bezieht sich auf lokal stark unterschiedlich beanspruchte Bauteile und solche technischen Anwendungsfälle, in denen sich γ -TiAl grundsätzlich als Werkstoff anbietet.

[0031] Die Werkstoffbezeichnung "intermetallische γ -TiAl-Legierung" umfasst ein weites Feld von Einzellegierungen. Ein wesentlicher Legierungsbereich ist durch die Summenformel

Ti-
Al₍₄₄₋₄₈₎(Cr,Mn,V)_{0,5-5}(Zr,Cu,Nb,Ta,Mo,W,Ni)_{0,1-10}(Si,B,C,Y)_{0,05-1} (Angaben in Atom-%)

abgedeckt.

[0032] Daneben gehören zu dieser Werkstoffgruppe auch orthorhombische Titan-Aluminid-Basislegierungen, z. B. mit einer typischen Legierungs-Zusammensetzung Ti-25Al-20Nb (Atom-%). Ihr vergleichsweise höheres spezifisches Gewicht macht diese Gruppe für diejenigen Anwendungsfälle weniger interessant, bei denen Bauteile schnellen und oszillierenden Bewegungsabläufen ausgesetzt sind, wie es zum Beispiel bei Ventilen in Verbrennungskraftmotoren der Fall ist.

[0033] Die erfindungsgemäss einstellbaren Gefüge aus den eingangs beschriebenen Phasen und Grundgefügen ergeben sich als Folge der erfindungsgemässen Verfahrensschritte, nach denen entsprechende Bauteile hergestellt werden.

[0034] Die bisher beschriebenen Verfahren zur Herstellung einer γ -TiAl-Legierung aus der Schmelze bzw. eines Schmelz-Guss-Rohlings ergeben inhomogen ausgebildete Phasen und Gefügestrukturen innerhalb des Rohlings, die allein schon eine Homogenisierung durch Heissisostatisches Pressen (HIP) und/oder einer Hochtemperaturglühung oder Umformung erforderlich machen. Demgegenüber hat sich das erfindungsgemässe Stranggussverfahren aus einem Kaltwandtiegel und Blockabzug des geeigneten Halbzeugs hervorragend gut bewährt, um dem Bauteil die geforderten Werkstoffeigenschaften für die Anwendungen zu geben, bei denen es auf Hochtemperatur-Kriechfestigkeit und hohe Bruchzähigkeit, dagegen weniger auf Ermüdungsfestigkeit und Bruchdehnung ankommt. Mit der Schmelzausbringung über Strangguss lässt sich in einem weiten Umfang ein Eigenschaftsprofil einstellen, wie es für das fertige Bauteil im nicht weiter umgeformten Bauteilbereich gefordert ist, z. B. das Profil des Tellerteils in einem Ventil für Verbrennungsmotoren. Je kleiner der Durchmesser des stranggegossenen

Halbzeugs gewählt werden kann, um so kleinere lamellare Koloniegrossen und Lamellenabstände mit noch höherer Bruchzähigkeit und Kriechfestigkeit lassen sich erzeugen.

[0035] Das Halbzeug in Form des Guss-Rohlings wird erfindungsgemäss anschliessend im Temperaturbereich zwischen 900°C und 1400°C durch Strangpressen oder mittels eines äquivalenten Umformverfahrens massiv umgeformt und dabei in eine Form gebracht, die auf die Maße des Endproduktes abgestimmt ist. Zur Erzielung eines gradierten Gefüges werden die Stangen nur über einen Teil ihrer Gesamtlänge in einer Strangpressmatrize solcher Profilmaße stranggepresst, die zumindest näherungsweise den Endabmessungen des Bauteiles im umgeformten Bereich entsprechen, z. B. Abmessungen eines Ventils für Verbrennungsmotoren mit konischem Übergang zwischen Schaft- und Tellerbereich, d. h. die Strangpressform besitzt einen sich konisch verjüngenden Querschnitt zwischen Einlassbereich zum Auslassbereich. Das Halbzeug wird im sich konisch verjüngenden Matrizenbereich zunehmend stärker umgeformt und damit kontinuierlich vom Gefügezustand des Gussgefüges in den durch Strangpressen erzielten rekristallisierten Gefügezustand überführt. Das bereits vorliegende Erfahrungswissen macht es dem Fachmann möglich, mittels entsprechender Umformparameter innerhalb materialbedingter Grenzen bestimmte thermomechanische Eigenschaften des Werkstoffes gezielt zu verändern und auf besondere Anforderungen hin zu optimieren.

[0036] Bevorzugte Bauteile gemäss Erfindung sind Ventile für Verbrennungskraftmaschinen. Dies gilt insbesondere für sich abzeichnende zukünftige Einsatzfälle. Während man bisher Motorventile üblicherweise über eine Nockenwelle steuert und dazu als Werkstoff verschiedene Stahlsorten einsetzt, geht die laufende Entwicklung in Richtung elektromagnetischer oder pneumatischer Einzelventilsteuerung. Dafür werden aber Leichtventile benötigt, die über eine ausreichende Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen, im Extremfall bis zu 850°C im Tellerbereich, verfügen müssen.

[0037] Ventile werden im Schaftbereich bei eher mässigen Temperaturen durch starke Wechselbelastungen (Ermüdung) beansprucht. Entsprechend hoch sind dort die Anforderungen an den Werkstoff hinsichtlich Festigkeit und Duktilität. Wie weiter oben bereits beschrieben wurde, werden bei erfindungsgemässen Bauteilen aus intermetallischen γ -TiAl-Legierungen diese lokal unterschiedlichen thermomechanischen Eigenschaften in hervorragender Weise erreicht.

[0038] Weitere, besonders geeignete Bauteile sind Schaufeln von Gasturbinen, bei denen im Fusspunkt der Schaufel andere thermomechanische Eigenschaften gefordert sind als im Umfangsbereich der Schaufel.

[0039] Die Erfindung wird anhand des nachfolgenden Beispiels für Ventile für Verbrennungskraftmaschinen im Detail beschrieben.

Beispiel

[0040] Es wird eine TiAl-Ausgangslegierung der Zusammensetzung Ti-46Al-8,5Nb-(1-3)(Ta,Si,B,C,Y) (Angaben in Atom-%) auf schmelzmetallurgischem Wege zu einem Stangenmaterial mit einem Durchmesser von 40 mm hergestellt, der näherungsweise dem Durchmesser eines Ventiltellers entspricht. Die Herstellung der Legierung erfolgt durch Mischen von Titan-Schwamm, Al-Granalien und einer Vielstoff-Vorlegierung AlNbTaSiBYC, in der die Atomverhältnisse zwischen den Legierungselementen Nb, Ta, Si, B, C und Y denen in der TiAl-Endlegierung entsprechen. Aus der Materialmischung wird ein stabiler Stab gepresst, der als Abschmelzelektrode in einem Vakuum-Lichtbogenofen ein-

gesetzt und zu einem Primär-Ingot umgeschmolzen wird. Der Primär-Ingot weist eine inhomogene Legierungszusammensetzung auf und wird deshalb in einem Plasma-Ofen (cold hearth) in einem skull aus arteigenem Material, das sich in einem wassergekühlten Kupfertiegel befindet, erneut aufgeschmolzen und homogenisiert. Über eine mit einem Plasmabrenner beheizte Rinne fließt das Schmelzgut in eine Strangabzugseinrichtung, an dessen oberem Ende eine dritte Homogenisierung in der schmelzflüssigen Phase mittels eines Kaltwand-Induktionstieglers erfolgt. Die schmelzflüssige TiAl-Legierung wird nach unten als Block bzw. Stab abgezogen, wobei das Material porenfrei gerichtet erstarrt. Das in Verfahren ist schematisch in Fig. 3 dargestellt und ist von A. L. Dowson et al. in Microstructure and Chemical Homogeneity of Plasma - Arc Cold-Hearth Melted Ti-48Al-2Mn-2Nb Gamma Titanium Aluminide, Gamma Titanium Aluminides, ed. Y.-W. Kim, R. Wagner and M. Yamaguchi, The Minerals, Metals & Materials Society, 1995, beschrieben worden.

[0041] Im Gegensatz zu diesem in der genannten Literaturstelle beschriebenen Verfahren bei dem die Kaltwand-Induktionsspule lediglich für einen Rühreffekt in der Schmelze sorgen soll, wird in der vorliegenden erfindungsgemäßen Ausgestaltung die Spule so dimensioniert, dass die Energie für das vollständige Aufschmelzen der sich in der Spule befindlichen Legierung ausreicht. Das so gewonnene Halbzeug weist eine lamellare Gussstruktur mit Koloniegroßen der Lamellenpakete zwischen 100 µm und 500 µm, aber gleichzeitig eine hervorragende Materialhomogenität auf. Die einzelnen so als Halbzeug gewonnenen Stangen werden in zylindrische Segmente geteilt, unter Schutzgas auf eine für das Umformen bestimmte Temperatur von 1200°C gebracht und im Schutzgas durch Fließpressen in ein geheiztes Gesenk mit Ventilform ausgepresst. Das Umformverhältnis im Schaftbereich beträgt ca. 15 : 1 und nimmt vom Telleransatz in Verlängerung des Schaftes bis zum Tellerende hin kontinuierlich bis zu einer Nullumformung ab. Im umgeformten Bereich wird durch die bei diesem Prozess auftretende dynamische Rekristallisation und der gegebenen Prozesstemperatur ein feinkörniges near-γ-Gefüge erzeugt, während im Tellerbereich das lamellare Gussgefüge erhalten bleibt. Das so ausgepresste Bauteil wird anschließend innerhalb von 30 Minuten auf eine Temperatur oberhalb der Spröd-Duktil-Übergangstemperatur abgekühlt, bei dieser Temperatur ca. 60 Minuten belassen und dann durch normale Abkühlung auf Raumtemperatur gebracht.

[0042] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf das vorstehend ausgeführte Beispiel beschränkt, vielmehr umfasst die Erfindung auch Bauteile für andere, nicht genannte Anwendungen, bei denen ein entsprechender Gefügebau anwendungsbedingt gefordert oder von Vorteil ist. Der Werkstoff γ-Basis-TiAl-Legierung ist nicht auf die explizit genannten Legierungszusammensetzungen beschränkt.

Patentansprüche

1. Einstückig hergestelltes Bauteil aus einer intermetallischen Legierung auf Basis von γ-TiAl mit gradiertem Gefügeübergang zwischen räumlich aneinander grenzenden Bereichen jeweils unterschiedlicher Gefügestruktur, **dadurch gekennzeichnet**, dass es, mindestens in einem Bereich ein lamellares, aus α₂/γ-Lamellen bestehendes Gussgefüge aufweist, und in mindestens einen weiteren Bereich ein near-γ-Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinelamellares Gefüge aufweist und zwischen diesen Bereichen eine Übergangszone mit gradiertem Gefüge vorhanden ist, in welcher das la-

millare Gussgefüge allmählich in das andere genannte Gefüge übergeht.

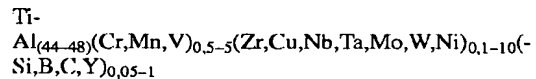
2. Bauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das lamellare, aus α₂/γ-Lamellen bestehende Gussgefüge durch gerichtetes Erstarren einer erschmolzenen Legierung hergestellt worden ist.

3. Bauteil nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das near-γ-Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinelamellare Gefüge in dem mindestens einen weiteren Bereich durch Massivumformung und gegebenenfalls einer Nachbehandlung aus dem Gussgefüge hergestellt worden ist.

4. Bauteil nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass es ein zylinderförmiges, mittels Stranggusses in Stabform porenfrei aus der Schmelze gewonnenes Halbzeug ist, welches anschließend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt ist.

5. Bauteil nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass es ein zylinderförmiges, mittels Schleudergusses lunkerfrei aus der Schmelze gewonnenes Halbzeug ist, welches anschließend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt ist.

6. Bauteil nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung der Summenformel



entspricht, ausgedrückt in Atom-%.

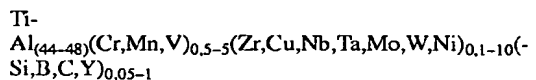
7. Bauteil nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Ventil für Verbrennungsmotoren ist.

8. Verfahren zur Herstellung von Bauteilen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt auf übliche Weise eine geeignete TiAl-Schmelze hergestellt wird, in einem zweiten Schritt die TiAl-Schmelze durch gerichtetes Erstarren in ein Halbzeug überführt wird, das ein lamellares, aus α₂/γ-TiAl-Lamellen bestehendes Gussgefüge aufweist, und in einem dritten Schritt in einem Teilbereich oder in Teilbereichen des Halbzeugs das lamellare, aus α₂/γ-TiAl-Lamellen bestehende Gussgefüge durch Massivumformung in einem Temperaturbereich von 900°C bis 1400°C in ein near-γ-Gefüge, Duplex-Gefüge oder feinelamellares Gefüge überführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass aus der TiAl-Schmelze mittels Strangguss ein porenfreies, zylinderförmiges Halbzeug hergestellt wird, welches anschließend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass aus der TiAl-Schmelze mittels Schleuderguss ein zylinderförmiges Halbzeug lunkerfrei hergestellt wird, welches anschließend durch Strangpressen eines Stabbereiches massiv umgeformt wird.

11. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die TiAl-Legierung der Summenformel



entspricht, ausgedrückt in Atom-%.

2. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 8

bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ventil für Verbrennungsmotoren hergestellt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

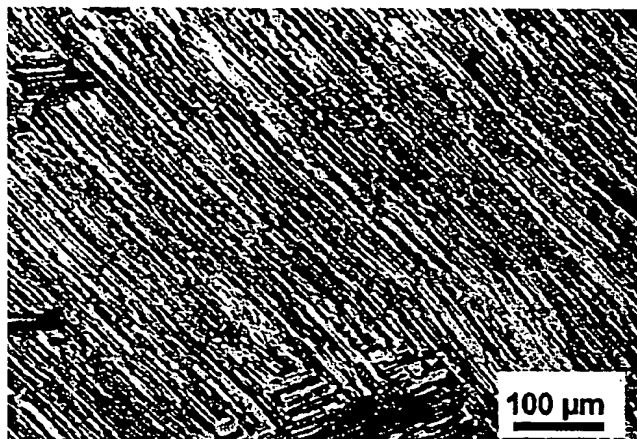
50

55

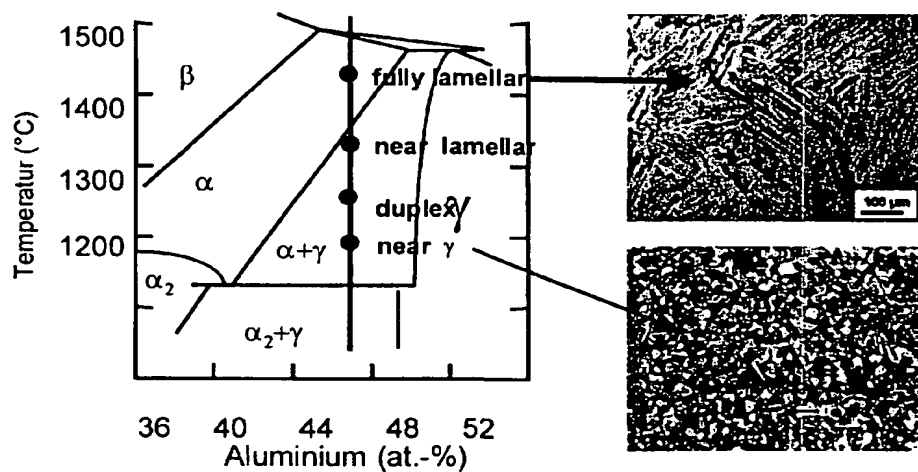
60

65

- Leerseite -

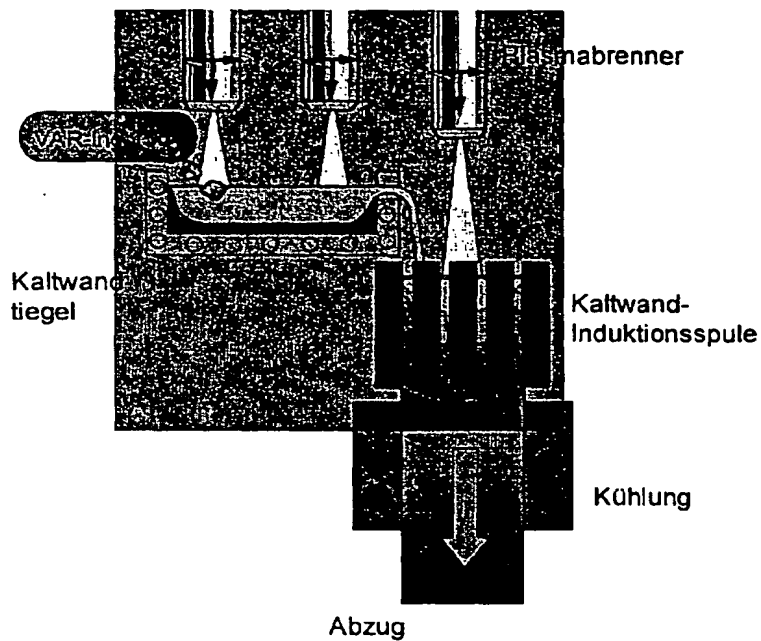


Figur 1

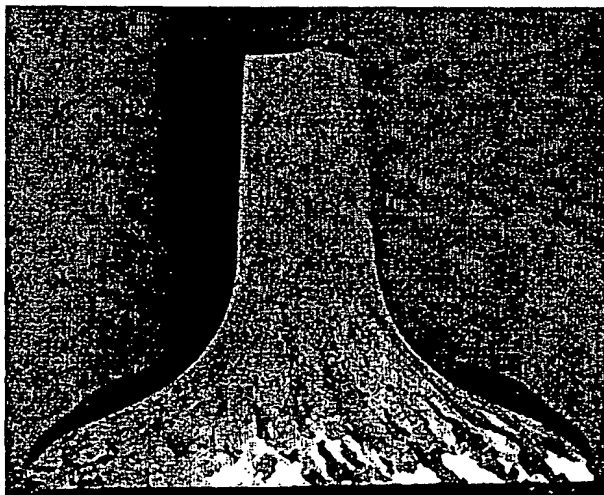


Figur 2

BEST AVAILABLE COPY

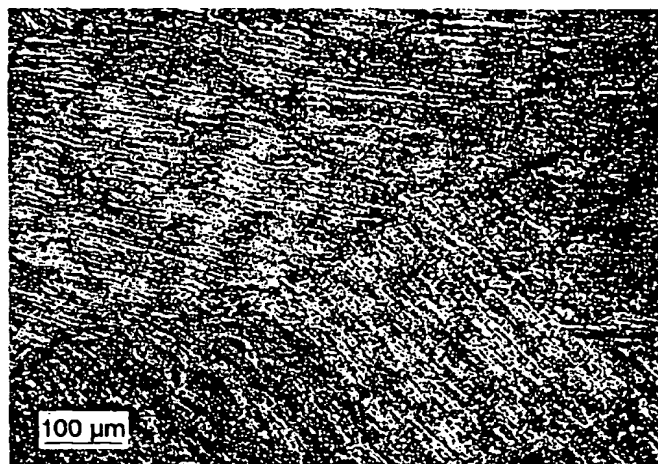


Figur 3

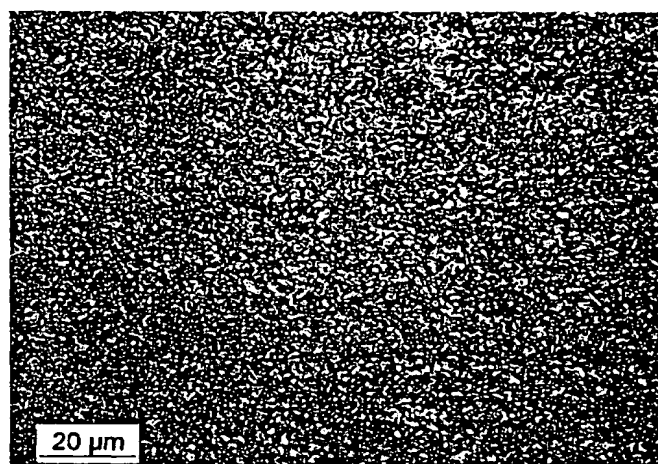


Figur 4

BEST AVAILABLE COPY



Figur 5



Figur 6

BEST AVAILABLE COPY